

# AGUA

PRESENCIA DE ARSÉNICO



Unidad Territorial de Vigilancia Tecnológica  
e Inteligencia Competitiva. Mendoza.  
2015

## Índice

Resúmen Ejecutivo.....	4
1. Introducción.....	6
1.1. Alcances y Objetivos.....	7
1.2. Aspectos Metodológicos .....	7
2. Fase previa a la vigilancia tecnológica.....	9
3. Análisis de la Actividad Científico-Tecnológica Mundial .....	9
3.1. Publicaciones Científicas: Tendencias y Liderazgos.....	11
3.1.1. Evolución de la productividad científica.....	11
Cuadro N°1: Publicaciones Científicas y Tecnológicas, rango por cantidad. Fuente UVTeICMENDOZA.....	12
3.1.2. Instituciones líderes en publicaciones científicas.....	12
Cuadro N°2: Publicaciones Científicas y Tecnológicas sobre Arsénico; rango por INSTITUCIÓN .....	12
Fuente UVTeICMENDOZA.....	12
3.2. Nube de palabras .....	14
3.2.1. Según autores.....	14
3.2.2. Nube de palabras según publicaciones en revistas .....	14
3.2.3. Nube de palabras más frecuentes en publicaciones.....	15
Fuente UVTeICMENDOZA.....	15
3.2.4. Nube de palabras más frecuentes en las noticias.....	15
3.5. Patentes Tecnológicas: Tendencias y Liderazgos .....	16
3.5.1. Cantidad de patentes por Solicitante.....	17
3.5.2. Nube de palabras .....	18
3.5.2. Nube de palabras por inventor.....	18
3.5.3. Nube de palabras por solicitante.....	19
4. Proyectos I+D+i .....	19
4. 1. Algunas tecnologías que deberíamos estudiar para su aplicación en el país y en la provincia.....	20
4.2. Continuous Sand Filter - Efficient and high quality performance.....	21
Foto N°3 .Continuous Sand Filter.....	22
4.3. Small Water System Solutions.....	22
Apu & Modular System Applications.....	22
4.4. Áreas en el mundo afectadas por la contaminación de arsénico en el agua.....	24
4.4.1. Handbook On The Toxicology Of Metals (FOURTH Edition).....	24
4.4.2. Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition).....	25
4.4.3. Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento.....	27
4.4.4. Journal of Environmental Chemical Engineering. Volume 2, Issue 4, December 2014, Pages 2221-2228.....	28
4.4.5. Twenty years of global groundwater research: A Science Citation Index Expanded-based bibliometric survey (1993-2012).....	29
4.4.6. Arsenico en acuíferos: influencia sobre la salud de la población.....	31
4.4.7. Evaluacion del riesgo para la salud en una población de la zona rural de bogotá d.c por la presencia de metales en aguas de consumo (health risk assessment of metal presence into drinking water in a bogota d.c. Rural population).....	31
4.4.8. Contenido de arsénico en el agua de consumo en Leales y Graneros (Provincia de Tucumán - Argentina)* .....	32
4.4.9. Permissible level of arsenic consumption.....	33

Nivel admisible de consumo de arsénico.....	33
4.4.10. Conventional technologies for ground water arsenic treatment.....	34
4.4.11. Membrane process.....	35
4.4.12. Coagulation.....	35
4.4.13. Adsorption methods.....	36
4.4.14. Oxidation.....	36
4.4.15. Rural technologies for arsenic removal.....	36
4.4.16. Community based removal technology.....	37
4.4.17. Household technology.....	37
4.4.18. SORAS.....	38
4.4.19. Bucket treatment unit.....	38
4.4.20. Sono filter.....	40
4.4.21. Arsenic biosand filter.....	41
4.4.22. Comparison of above mentioned rural methods of Arsenic Treatment.....	42
4.4.23. Other approaches for arsenic mitigation.....	43
5. Recomendaciones y Conclusiones.....	44
5.1. Recomendaciones brindadas por la OMS y la IARC sobre el arsénico. ....	44

## Resumen Ejecutivo

*El trabajo que aquí se presenta, corresponde al “Estudio de Vigilancia Tecnológica sobre la presencia de Arsénico en el Agua”, encargado por el Gobierno de la Provincia de Mendoza a la Unidad Territorial de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva-Mendoza.*

*La Unidad Territorial de VTelC-Mendoza ha sido coordinada por el IDITS y ha contado con profesionales representantes de las Universidades: Nacional de Cuyo, UTN-Facultad Regional Mendoza, Aconcagua, Juan Agustín Maza, Mendoza y Congreso, también integraron esta Unidad profesionales representantes del CONICET; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA a través de su Centro Regional Mendoza-San Juan; el Instituto Nacional del Agua, INA-CELA, el Observatorio Vitivinícola Argentino, y el Departamento General de Irrigación-DGI.*

*El objetivo principal de este documento consiste en describir las principales tendencias tecnológicas asociadas a la presencia del ARSÉNICO en el AGUA, su impacto en la SALUD y posibles soluciones.*

*La búsqueda en información de patentes, arrojó un total de 236 patentes que han sido publicadas desde 1936. Cerca de 16 países han contribuido a este desarrollo tecnológico, teniendo como expositores líderes a países tales como China con 130 patentes, seguido por Estados Unidos con 55 patentes nacionales y 28 internacionales y Japón con 11.*

*Por su parte, en la búsqueda de actualidad mundial del sector se revisaron principalmente fuentes de información no estructuradas (Web), entre ellas la Red Europea Enterprise Europe Network, a través de su sitio principal como mediante el nodo andaluz : Centro de Servicios Europeos a empresas Andaluzas (CESEAND) y Madri+d, y la base de datos de Proyectos I+D del Programa Marco (CORDIS), entre otras. También hemos utilizado fuentes tales como :*

- *Science Direct.*
- *United States Environmental Protection Agency*
- *MDPI AG (Basel, Switzerland) unless otherwise stated*

- *Google Scholar*
- *Portal de Búsqueda de la BVS Información y Conocimiento para la Salud*
- *Nature.com*
- *US National Library of Medicine National Institutes of Health*
- *Euro Lex Access to European Union law Access to European Union law*

## 1. Introducción

La Vigilancia Tecnológica hoy es concebida como una herramienta útil, para la obtención de información, en una forma oportuna y adecuada, y la posterior difusión para la toma de decisiones estratégicas.

La Vigilancia Tecnológica se define como el "Proceso sistemático de captura, análisis, difusión y explotación de las informaciones técnicas útiles para la supervivencia y crecimiento de la empresa", en términos sencillos, la Vigilancia Tecnológica sirve para:

- Evitar sorpresas tecnológicas y comerciales
- Identificar competidores o socios potenciales
- Identificar qué tecnologías nuevas están apareciendo
- Evaluar las fortalezas y debilidades de los competidores
- Mejorar la planificación estratégica
- Identificar nuevos mercados
- Colocar competitivamente nuevos productos y servicios

En este contexto, en el presente estudio se pone a disposición de los interesados los principales resultados del proceso de Vigilancia Tecnológica, los cuales han sido obtenidos a través de la recopilación y análisis de información de distintas fuentes internacionales, creando un medio de información y asesoramiento sobre la situación de las tecnologías y técnicas que permiten conocer el estado de la técnica e identificar evoluciones tecnológicas y líderes mundiales.

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre que en algunas regiones del mundo puede estar presente en el agua cuando ésta atraviesa rocas que lo contienen en abundancia. Los procesos que pueden dar lugar a una contaminación natural del agua por arsénico son muy variados:

- Áreas geotermales
- Regiones volcánicas
- Acuitardos o niveles de arcillas, intercalados en acuíferos detrítico que contienen minerales con arsénico
- Acuíferos que contienen óxido de hierro y manganeso, con fuerte afinidad por el arsénico.

La presencia de agua contaminada por arsénico adquiere mayor trascendencia en regiones con una importante actividad agrícola y ganadera, ya que el agua no sólo es utilizada para el abastecimiento de núcleos de población sino también como agua de riego y para bebida del ganado.

Aunque la contaminación del agua por arsénico destaca por presentar una importante trascendencia medioambiental pero especialmente por los efectos

que sobre la salud puede acarrear este tipo de problemas.

El consumo durante periodos prolongados de agua rica en arsénico puede resultar muy peligroso para la salud humana. En poblaciones que ingieren agua potable contaminada por arsénico se han observado efectos adversos tales como cáncer de piel, lesiones dérmicas, neuropatías periféricas y vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro") y diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, hígado y vejiga).

Por razones geológicas naturales, en ciertas zonas del mundo el agua que beben algunas poblaciones puede contener altas concentraciones de arsénico inorgánico. Así ocurre en Argentina, Formosa, Chile, México, India, China, Bangladesh, Taiwán, El Salvador, Pakistán, Estados Unidos).

### 1.1. Alcances y Objetivos

Poner en práctica los conocimientos adquiridos a través del curso de VT brindado por el equipo técnico del **Programa Vintec del MINCyT**, en este caso la modalidad sobre el tema "Presencia de Arsénico en agua" será motivo de este breve informe y además de algunos reportes de información científica que fueron considerados de interés.

### 1.2. Aspectos Metodológicos

En este aspecto se ha seguido la metodología sugerida por los capacitadores del Programa VINTEC, la cual puede observarse en la siguiente gráfica.



Cuadro N° 1-Programa VINTEC-Conceptos

En la práctica el equipo trabajó los siguientes componentes:

- Identificación de objetivos: El primer paso que se debe hacer para la implementación de un Sistema de Vigilancia Tecnológica es de gran



importancia, nos referimos a la definición del ámbito de actuación; según las consignas brindadas por los técnicos del Programa VINTEC del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el mismo debía referirse a un tema que no estuviese consignado en la Antena Tecnológica Nacional del MINCyT.



Gráfico 1- Antena Tecnológica- MINCyT

Es así que para fortalecer la expertise en Vigilancia tecnológico los integrantes deliberaron y decidieron trabajar sobre el tema Agua.

- Selección de fuentes de información: de acuerdo con los objetivos definidos, se determinaron las fuentes de información que se utilizarán para capturar la información relevante por cada entorno o ámbito de actuación.
- Búsqueda y selección manual o automatizada en fuentes de información: Se identificaron los procedimientos adecuados para la realización de búsquedas en las fuentes seleccionadas, se describen y llevan a cabo las recomendaciones oportunas sobre las herramientas de búsqueda, seguimiento y captación de información electrónica.
- Almacenamiento de la información en herramientas documentales: (bases de datos, agregadores de noticias y marcadores Web, entre otros). Es indispensable conocer las herramientas adecuadas que permitan el almacenamiento de la información, así como su gestión y puesta a disposición de los investigadores y expertos que forman parte del proceso de vigilancia.
- Análisis e interpretación de la información: La Vigilancia Tecnológica no es



sólo un proceso documental; es también un proceso científico interpretativo que incluye el análisis de la información recopilada con el fin de detectar tendencias, novedades y avances.

- Producción de informes de Vigilancia Tecnológica: Los informes de Vigilancia Tecnológica son instrumentos de trabajo para la oportuna toma de decisiones por parte de los directivos de la institución y de las personas involucradas en los procesos que se vigilan y por ello deben adecuarse a los términos de la investigación.

## 2. Fase previa a la vigilancia tecnológica

Con el propósito de diseñar y estructurar a la medida un Sistema de Vigilancia Tecnológica para los organismos referentes del estado provincial, lo primero que se planteó fue la formulación de algunos planteamientos:

- ¿Qué conocemos del entorno competitivo y tecnológico?
- ¿En qué grado lo conocemos?
- ¿Cuál es el objeto de la Vigilancia?
- ¿Qué debemos vigilar?
- ¿Qué información debemos buscar?
- ¿Dónde encontrarla?.

Sin duda que la colaboración recibida por parte de los organismos que están relacionados con el AGUA y por sus expertos ha sido muy orientativa para el desarrollo de la actividad, además de cada una de las charlas personales que se mantuvieron con los funcionarios de estas instituciones.

## 3. Análisis de la Actividad Científico-Tecnológica Mundial

Antes de iniciar el tratamiento de la actividad científico tecnológica es necesario hacer alguna referencia sobre la importancia del tema, fundamentalmente por el impacto que el mismo tiene en la salud.

*¿Qué se sabe del Arsénico?*. El arsénico es un elemento natural que se comporta como un metal. Está presente en el entorno de forma natural y como consecuencia de ciertas actividades humanas. Se presenta de diferentes maneras. Existe tanto bajo forma inorgánica como orgánica. Generalmente se considera que el arsénico inorgánico es más tóxico.

El nivel de arsénico puede medirse con diferentes métodos de laboratorio. Algunos pueden distinguir diferentes tipos de arsénico y otros permiten medir de forma precisa cantidades muy pequeñas de arsénico.

En la actualidad el alto contenido de arsénico en Argentina afecta aproximadamente a un 7% de la población, presentando los valores más altos en la zona norte y nordeste del país.

*Niveles de exposición al arsénico.* Los niveles de arsénico en el entorno son variables. En el aire, los niveles son los más bajos en áreas remotas o rurales, más altos en áreas urbanas y los más altos en las zonas cercanas a fuentes industriales. En el agua, los niveles de arsénico son los más bajos en el agua de mar, más altos en los ríos y lagos y los más altos en las aguas subterráneas de las áreas con depósitos de roca volcánica o de minerales ricos en arsénico. Los niveles de fondo de arsénico en suelos y sedimentos aumentan cuando hay fuentes de contaminación, ya sean éstas naturales y/o de origen humano.

Las cantidades de arsénico presentes en animales vivos, plantas y microbios varían. Las cantidades dependen del nivel de contaminación local y del tipo de organismo ya que algunos tienden a acumular arsénico en su cuerpo. El arsénico está generalmente más presente en los animales que viven en el mar que en los que viven en agua dulce o que en las plantas y otros animales terrestres. Las plantas terrestres pueden acumular compuestos de arsénico absorbiéndolos del suelo y/o si el aire los deposita sobre sus hojas.

Las fuentes más importantes de exposición al arsénico de los seres humanos son los alimentos y el agua. Los alimentos son generalmente la fuente principal, excepto en las zonas en las que el agua de bebida está contaminada por el arsénico de forma natural. Las cantidades de arsénico inhaladas por no fumadores son muy pequeñas, excepto en las zonas contaminadas por las industrias. Los fumadores inhalan más arsénico ya que este forma parte de los cientos de químicos presentes en el humo de tabaco. La exposición al arsénico en el lugar de trabajo puede ser bastante alta, pero en muchos países las cantidades presentes en el aire del lugar de trabajo son controladas.

*El arsénico en los seres vivos.* Cuando se inhala arsénico porque está presente en partículas del aire, la cantidad que el sistema sanguíneo absorbe depende de dos factores: la solubilidad de la variante de arsénico y de lo pequeñas que sean las partículas que lo contienen. Dicho esto, la mayoría del arsénico presente en el cuerpo proviene de la alimentación. En el intestino, los compuestos solubles de arsénico presentes en los alimentos son rápidamente absorbidos por el sistema sanguíneo. Muchos compuestos de arsénico son rápidamente transformados y eliminados por el cuerpo a través de la orina. Sin embargo, la capacidad de las personas es diferente en el momento de eliminar compuestos de arsénico.

Las cantidades de arsénico en el cuerpo se pueden determinar tomando muestras de sangre, orina, pelo o uñas y midiendo el nivel de arsénico o de sustancias que contengan arsénico. Este desaparece rápidamente de la sangre, por lo que los niveles en sangre solo indican altas exposiciones recientes, como por ejemplo envenenamientos o exposiciones a largo plazo si éstas se hacen de forma repetida y son de gran intensidad. Los niveles en orina son los que mejor determinan una exposición reciente, mientras que los niveles en pelo y uñas pueden indicar exposiciones pasadas.

El arsénico puede tener efectos negativos sobre los animales de laboratorio pero algunas formas de arsénico son más tóxicas que otras. Cuando la exposición es tan alta como para causar envenenamiento o cáncer, la muerte puede ser una de las consecuencias. Muchas partes del cuerpo pueden sufrir daños causados por el contacto con arsénico: piel, intestino, pulmones, corazón, vasos sanguíneos, sistema inmunológico, sistema urinario, órganos reproductores y sistema nervioso, entre otros. El arsénico también puede dañar los cromosomas, que contienen material genético dentro de las células del cuerpo.

*Efectos del arsénico sobre la salud humana.* Si un ser humano ingiere una gran cantidad de arsénico, en una forma que se absorba fácilmente, puede provocar un envenenamiento rápido y la muerte. El intestino, el corazón y el sistema nervioso se ven afectados. Los que sobreviven a un envenenamiento severo pueden desarrollar manchas de pigmentación en la piel y daños en los glóbulos rojos, la médula ósea (donde se producen los glóbulos sanguíneos), el hígado, los nervios y el cerebro. Una exposición a largo plazo a altos niveles de arsénico en el agua de bebida puede causar un espesamiento de la piel o la aparición de manchas de pigmentación en la piel, así como cáncer de piel, pulmón, vejiga o riñón. La exposición en el lugar de trabajo, sobre todo a través de la inhalación de aire, puede causar cáncer de pulmón. Fumar aumenta el riesgo de este tipo de cáncer.

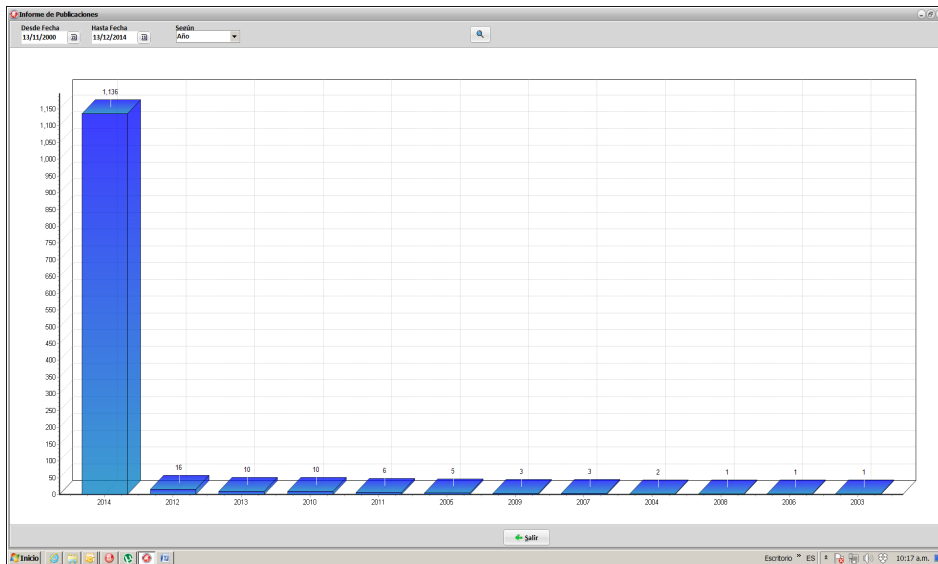
En Taiwán, la ingesta de arsénico a largo plazo, principalmente a través de agua de bebida de pozos contaminados, es la causa de una enfermedad denominada "enfermedad del pie negro" ("blackfoot disease" en inglés). Los vasos sanguíneos de la pierna y el pie se ven dañados. Esto provoca un enfriamiento del pie, una pérdida de sensibilidad y finalmente gangrena en el pie.

### **3.1. Publicaciones Científicas: Tendencias y Liderazgos**

Algunas referencias interesantes observadas en este temas son las siguientes:

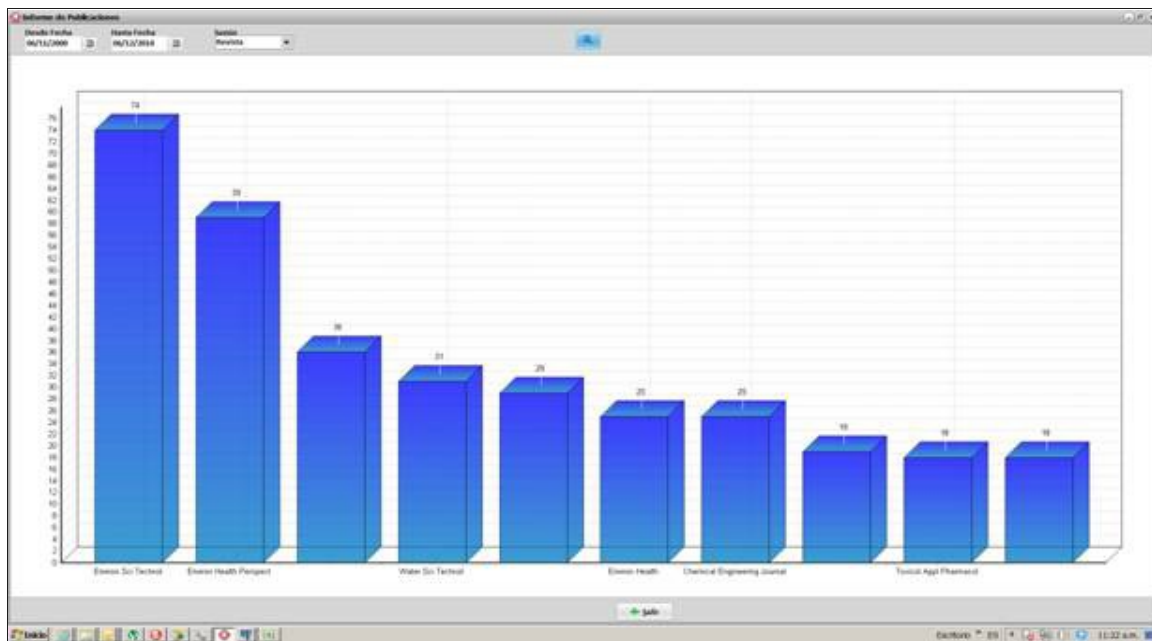
#### **3.1.1. Evolución de la productividad científica**

En el cuadro que figura a continuación puede observarse como la productividad de publicaciones científicas se despegó asombrosamente a partir del presente año, pasando de un rango de 10 y menor aún a 1136 publicaciones en 2014; evidentemente ha tomado una trascendencia mayor.



Cuadro N°1: Publicaciones Científicas y Tecnológicas, rango por cantidad. Fuente UVTeICMENDOZA

### 3.1.2. Instituciones líderes en publicaciones científicas



Cuadro N°2: Publicaciones Científicas y Tecnológicas sobre Arsénico; rango por INSTITUCIÓN

Fuente UVTeICMENDOZA

En este cuadro pueden observarse las instituciones que más han publicado a nivel internacional sobre este tema, ellas son:

Instituciones y Rangos	
74	Environ Sci Technol
59	Environ Health Perspect
36	Int. J. Environ. Res. Public Health
31	Water Sci Technol
29	Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)
25	Environ Health
25	Chemical Engineering Journal
19	Journal of Hazardous Materials
18	Toxicol Appl Pharmacol
18	Science of The Total Environment

Cuadro N°3: Instituciones que más han publicado.

Fuente UVTelCMENDOZA

### 3.2. Nube de palabras

#### 3.2.1. Según autores

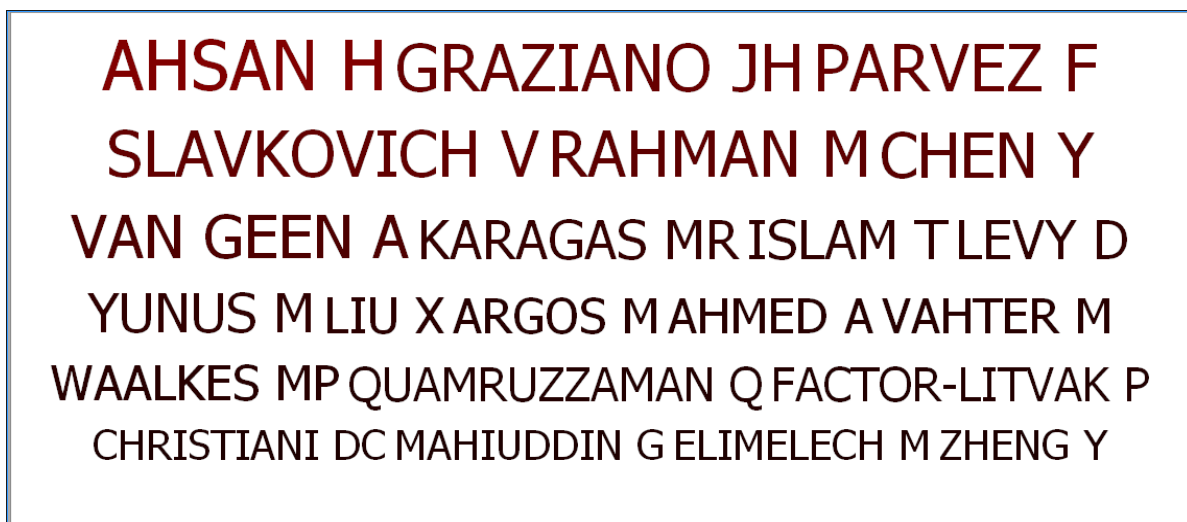


Grafico N°2: Autores más destacados.Fuente UVTeICMENDOZA

Puede observarse en el presente gráfico los autores que mas publicaciones han realizado en este último tiempo. Se considera de interés su mención como referentes para aquellas instituciones cuyo objeto o misión esta relacionada directamente con el sector AGUA.

#### 3.2.2. Nube de palabras según publicaciones en revistas



Grafico N°3:

Publicacionews de Revistas más destacados.

Fuente UVTeICMENDOZA

Este cuadro menciona las principales revistas científicas que han publicado sobre el Arsénico.

### 3.2.3. Nube de palabras más frecuentes en publicaciones



Grafico N°4: Palabras mas frecuentes en las publicaciones

Fuente UVTeICMENDOZA

El presente cuadro hace mención a las palabras más utilizadas en las publicaciones científicas.

### 3.2.4. Nube de palabras más frecuentes en las noticias



Grafico N°5: Palabras mas frecuentes en las noticias científicas

Fuente UVTeICMENDOZA

El presente gráfico presenta las palabras que más se presentan en las noticias que fueron consideradas para hacer este informe.



### **3.5. Patentes Tecnológicas: Tendencias y Liderazgos**

Las patentes encontradas en estrecha relación con la temática : " Presencia de arsénico en agua" no son tantas; por ejemplo un importante hallazgo en la búsqueda ha sido la patente que comenta sobre la *Remoción de Arsénico en el agua potable a través de una base de piedra caliza*. La contaminación por arsénico de las aguas subterráneas es un problema que enfrentan muchas áreas de los Estados Unidos y el resto del mundo. Este problema se ha destacado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos quienes han tomado la decisión de exigir reducciones en el nivel aceptable de arsénico en el agua potable de 50 ppb a 10 ppb en el año 2006. Sólo en Dakota del Sur, el 18,6 por ciento del suministro de agua a sistemas de población pequeña y rural no estarán en el cumplimiento de este mandato.

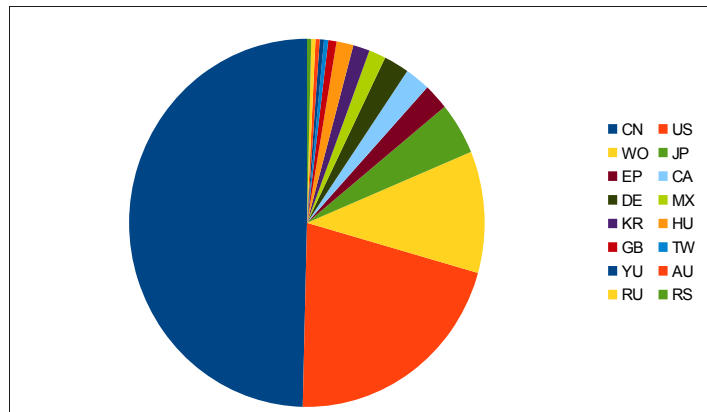
Las tecnologías actuales no son rentables para tratar estos pequeños sistemas de agua potable. Se necesitan medidas urgentes para hacer frente a este problema. La empresa Hydrotech Ingeniería propone un método para resolver este problema con una metodología única y potencialmente rentable para eliminar el arsénico del agua potable. Los recientes avances de Hydrotech Ingeniería han demostrado la viabilidad de este procedimiento y los principales científicos que participan están en proceso de patentar la tecnología. Hydrotech Ingeniería ha esbozado una Fase I del proyecto integral para la reducción de arsénico en el agua potable utilizando un material a base de piedra caliza, con las pruebas y la evaluación de las características de eliminación de acuerdo con los procedimientos establecidos. Este proyecto no sólo podría resolver el problema de la contaminación por arsénico hacia zonas rurales de Dakota del Sur y otras áreas de los Estados Unidos, pero también puede representar a una industria de mil millones de dólares en todo el mundo.

Algunos ejemplos de patentes son publicados en una separata especial.

## Cantidad de patentes presentadas por país

Pais	Cantidad
CN	130
US	55
WO	28
JP	12
EP	6
CA	6
DE	6
MX	4
KR	4
HU	4
GB	2
TW	1
YU	1
AU	1
RU	1
RS	1

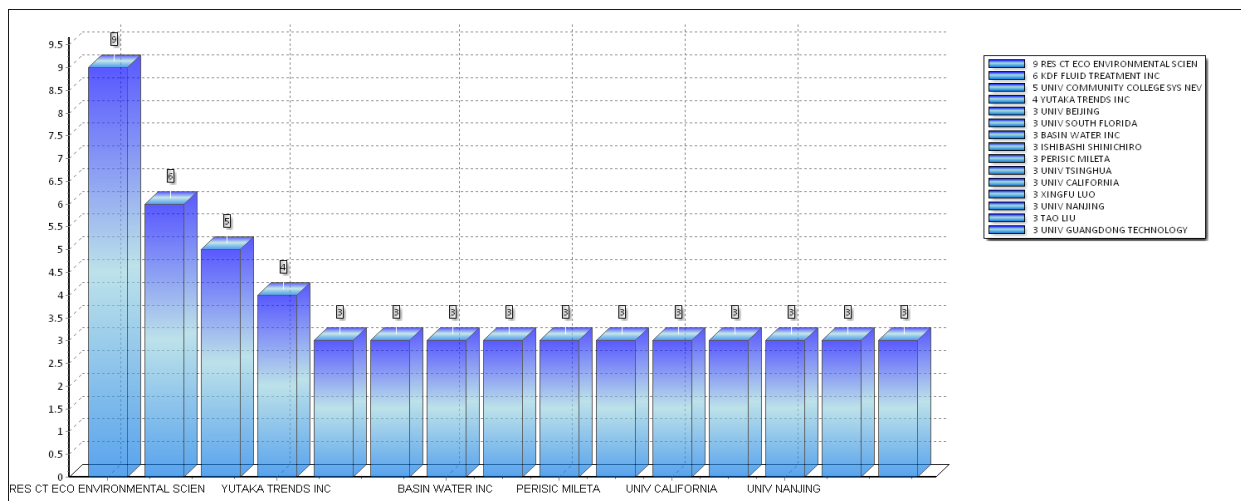
262



Cuadro N°4: Cantidad de patentes por inventor. Fuente UVTeICMENDOZA

Este cuadro confirma lo que el equipo estimaba respecto a las tendencias tecnológicas en estos temas; encabezan el listado China con 130 patentes y Estados Unidos con 55. El único representante latinoamericano es México con 1 patente.

### 3.5.1. Cantidad de patentes por Solicitante



Cuadro N°4: Cantidad de patentes por inventor. Fuente UVTeICMENDOZA

El presente cuadro muestra la cantidad de patentes solicitadas y las instituciones que las demandan.



### 3.5.3. Nube de palabras por solicitante



Mapa N°3: Solicitantes que más se destacan.

Fuente UVTelCMENDOZA

## 4. Proyectos I+D+i



En líneas generales puede observarse en la bibliografía científica y académica una gran cantidad de proyectos con el interés en tratar la presencia de arsénico en agua, fundamentalmente por las consecuencias terribles que el arsénico provoca en la salud.

El origen del Arsénico en las aguas subterráneas de la Argentina es atribuido a la actividad volcánica ocurrida en los Andes durante el Cuartario. Esa actividad fue muy intensa en el Altiplano y a ella se deberían las altas concentraciones de As que presentan las napas freáticas en nuestro país.

En líneas generales puede observarse en los diversos proyectos de I+D+i, que tanto organismos de las políticas públicas como del sector científico y académico trabajan en forma sinérgica para abordar en el corto plazo este tema de vital importancia para salud de la población en Argentina.

*4. 1. Algunas tecnologías que deberíamos estudiar para su aplicación en el país y en la provincia*



Foto N°1: Unidades móviles purificadoras anti desastres



Foto N°2: Unidades móviles purificadoras anti desastres

Permite purificaciones mediante ultra-filtración, osmosis inversa y ozonización.



Foto N°3: INDRO (procedimiento por osmosis inversa)

Rango de capacidad de 200 a 300 Litros por hora. Posibilidad de fuente solar.

#### ***4.2. Continuous Sand Filter – Efficient and high quality performance***

Continuous Sand Filter is a continuous filter which effectively treats surface water and contaminated ground water. It treats influent containing several times more dirt than a conventional filter.

Se trata de un filtro de arena continuo que trata con eficacia las aguas superficiales y aguas subterráneas contaminados.

#### **Características:**

- Operates at atmospheric pressure
- Treats suspended solids up to 150 ppm;
- treated water quality < 5 ppm
- Ensures uninterrupted operation without stopping for backwash
- Minimum energy consumption
- Lowest operation cost
- Space saving
- Easy capacity expansion (for flow rates 3 higher than 60 m /h a design in concrete walled honeycombed structure is available)





Foto N°3 .Continuous Sand Filter

### ***4.3. Small Water System Solutions***

#### ***Apu & Modular System Applications***

#### **Adsorption Media - Arsenic Reduction**

Adedge Technologies' Bayoxide®E33 media is the industry standard for arsenic reduction that reduces up to 99% of total arsenic, including both arsenic (III) and arsenic (V). It is also effective in reducing other heavy metals such as lead, cadmium, chromium, antimony and molybdenum. This revolutionary new iron-based granular adsorption media has 4 to 10 times the capacity of many adsorption medias. Adedge's product is specifically designed for commercial and residential POE and small systems to meet the new EPA arsenic standard of 10 ppb. Developed in the mid-nineties, this ferric oxide-based product has been successfully used in large-scale drinking water applications since 1999. The new E33 media is discardable when spent and requires no chemicals or regeneration. It has become the premier product of choice for commercial drinking water treatment systems for reliable, cost-effective, proven reduction of arsenic.

**Bayoxide®E33 AdEdge Technologies** es el estándar de la industria para la reducción de arsénico que reduce hasta un 99% del total de arsénico, que incluye tanto el arsénico (III) y arsénico (V). También es eficaz en la reducción de otros metales pesados, como el plomo, cadmio, cromo, antimonio y molibdeno. Este nuevo y revolucionario medio de adsorción granular a base de hierro tiene de 4 a 10 veces más la capacidad de adsorción. Este producto está diseñado específicamente para POE comercial y residencial y pequeños sistemas para cumplir con la nueva norma de arsénico de la EPA de 10 ppb. Desarrollado a



mediados de los años noventa, este producto a base de óxido férrico se ha utilizado con éxito en aplicaciones de agua potable a gran escala desde 1999.

Los nuevos E33 media es descartable cuando ha sido utilizado y no requiere de productos químicos o de regeneración. Se ha convertido en el principal producto de la opción para los sistemas de tratamiento de agua potable comerciales para la reducción confiable, rentable y probado de arsénico.

Removal of up to 99% of total Arsenic in water, including As (III) & As (V) with no wasting of water.

Effective for reducing lead, chromium, cadmium, molybdenum and antimony



Foto N°4 Tecnología

### Chemo-Dearsenification Unit Schematic Diag.

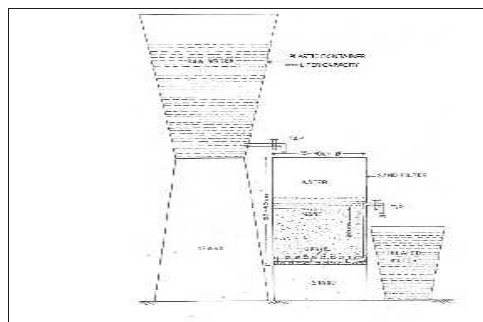


Foto N°5: Gráfico del proceso

#### 4.4. Áreas en el mundo afectadas por la contaminación de arsénico en el agua



Dark areas representing the countries affected by arsenic contamination.

##### 4.4.1. *Handbook On The Toxicology Of Metals (FOURTH Edition)*

Es un Manual sobre la toxicología de los metales, en su cuarta edición llena el vacío entre la base de conocimiento establecidas y los nuevos avances en la toxicología de metal para proporcionar una referencia esencial para todos los que participan en el campo. Este libro ofrece una cobertura completa de los datos toxicológicos básicos, haciendo hincapié en los efectos tóxicos no sólo en los seres humanos, sino también en los de los animales y de los sistemas biológicos in vitro. La cuarta edición también contiene varios nuevos capítulos sobre temas importantes como nanotoxicología, metales en las prótesis e implantes dentales, la interacción gen-ambiente, neurotoxicología, metales en los alimentos, renales, cardiovasculares, la diabetes y los efectos de la exposición a metales y mucho más. La cuarta edición del Manual sobre la toxicología de los metales es una referencia importante e indispensable para los toxicólogos, médicos, farmacólogos, ingenieros, y todos los implicados en la toxicidad de los metales.

Incluye información sobre las fuentes, el transporte y la transformación de los metales en el medio ambiente y sobre determinados aspectos de los efectos ecológicos de los metales para proporcionar una base para una mejor comprensión de los posibles efectos adversos sobre la salud humana, cubre también temas como: la toxicología de nanomateriales metálicos, toxicología de metales en los países en desarrollo, efectos adversos sobre la salud humana, los metales tóxicos en los alimentos; toxicidad de metales liberados de los

dispositivos médicos; Interacciones genético-ambientales; neurotoxicología de metales; etc.

**Keywords:** metal poisoning; adverse health effects; analysis; diagnosis; treatment y chelation therapy

Es un manual muy recomendado, para ver mas buscar:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444594532000238>

#### ***4.4.2. Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)***

### **Chapter 23 - Diagnosis and Treatment of Metal Poisoning: General Aspects**

Authors: Lars Gerhardsson,  
George Kazantzis

Abstract: Metal poisoning may or may not be apparent from the clinical features induced. The exposure pattern in terms of time, concentration, and route of exposure is a determinant of the clinical effect. Short-term high-level and long-term low-level exposure by ingestion are seen more often in the domestic environment and inhalation exposure is seen more often in occupational settings.

Abstract: La intoxicación/envenenamiento por metales puede o no ser aparente por los síntomas que produce. Son muchas las variables a tener en cuenta: tiempo de exposición, concentración, y el camino de incorporación, todas ellas son determinantes en los efectos clínicos. Cortos tiempos de exposición a altas concentraciones y largos tiempos a bajas concentraciones incorporados por ingestión se dan más frecuentemente en entornos domésticos, en cambio incorporaciones por inhalación se producen más frecuentemente en situaciones ocupacionales.....

**Keywords:** metal poisoning; adverse health effects; analysis; diagnosis; treatment; chelation therapy

Ver más en :

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444594532000238>

## Chapter 61–Arsenic in Wines and Beers from European Markets: Alert of Arsenic Species in Response to Processing

### Capítulo 61 - El arsénico en Vinos y Cervezas de los mercados europeos: Alerta de especies de arsénico en respuesta al tratamiento J.-H. Huang, Kan-Nian Hu, Jörg Ilgen, Gunter Ilgen, Christine Alewell

Abstract: An attempt is made to synthesize the occurrence of inorganic and organic arsenic compounds and the factors affecting their concentration and speciation during production of wine and beer. The arsenic concentration is generally low in wines and beers (mostly <10ppb) with inorganic arsenic as the major component. The wine made from berries kept longer on the vine has a higher arsenic concentration. In contrast, significant reductions of arsenic concentrations were found in several wines produced through solid removal such as used after crushing and for purification. Moreover, prolonged fermentation in wine production could decrease arsenic concentration through volatilization and sedimentation and also change arsenic speciation. Both solid removal and fermentation in beer production could have similar influences on the arsenic as in wine production. Lastly, inorganic and organic arsenics are stable in wine and beer against redox transformation and demethylation due to the acidity.

Abstract: Se hace un intento para sintetizar la aparición de compuestos de arsénico inorgánico y orgánico y los factores que afectan su concentración y su especiación durante la producción de vino y cerveza. La concentración de arsénico es generalmente baja en los vinos y cervezas (en su mayoría <10 ppb) con arsénico inorgánico como componente principal. El vino de bayas mantenido más tiempo en la vid tiene una mayor concentración de arsénico. Por el contrario, las reducciones significativas de las concentraciones de arsénico se encontraron en varios vinos producidos a través de la extracción sólida, tal como se utiliza después de la molienda y para la purificación. Por otra parte, la fermentación prolongada en la producción de vino podría disminuir la concentración de arsénico a través de la volatilización y la sedimentación y también cambiar la especiación de arsénico. Tanto la extracción sólida y la fermentación en la producción de cerveza podría tener influencias similares en el arsénico como en la producción de vino. Por último, arsénicos inorgánicos y orgánicos son estables en el vino y la cerveza debido a la acidez.

Keywords: Total arsenic; Arsenic speciation; Beer; Wine; European market

Palabras Claves: Arsénico total; Especiación de arsénico; cerveza; vino; mercado europeo

Ver más en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124046993000615>

#### **4.4.3. Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento**

Autores: J.L. FERNÁNDEZ-TURIEL<sup>1</sup>, G. GALINDO<sup>2</sup>, M.A. PARADA<sup>3</sup>, D. GIMENO<sup>4</sup>, M. GARCÍA-VALLÈS<sup>4</sup>, J. SAAVEDRA<sup>5</sup>

Abstract: Approximately two million inhabitants in an area of  $1.7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> in the South American Cone are potentially exposed to drinking water with arsenic concentrations exceeding 50 µg/l and, consequently, have a high risk of arsenicosis. The affected area extends NW-SE from the Pacific coast to the Atlantic coast. The southern border is a line at 30°S in Chile that follows the rivers Desaguadero and Colorado in Argentina. A provisional northern border has been established through the north of the Altiplano and the rivers Bermejo and Paraná. In relation to arsenic, this large zone has been subdivided in: 1) cordilleran zone (includes the Altiplano and the Puna) and neighboring areas, 2) pericordilleran zone, and 3) pampean zone. Except for local contamination of mining and smelters, the arsenic source is natural and is related to the volcanism and associated hydrothermal activity of the Andes Cordillera between 14 y 28°S. The secondary dispersion by means of surface waters is the main process implied in the arsenic transport to the Pacific and Atlantic coasts. Arsenic mobility is controlled by redox conditions and pH. Oxidizing conditions prevail in the South American Cone and arsenic is dominantly present as dissolved species of As(V), while pH is near neutral to slightly alkaline.

Water management in this area is conditioned by the oxidation state of arsenic, but also by the frequent high salinity and high concentrations of potentially toxic trace elements (e.g., fluorine) and the low microbiological quality. Water supply needs vary from rural families to cities. A possible solution is the use of alternative water sources. If this is not possible, water treatment using optimized conventional processes, demineralization technologies, bioremoval methods, and point of use technologies are alternatives for arsenic removal in water.

Keywords: arsenic, state of the art, treatment, Argentina, Chile.

Resumen: Unos dos millones de personas en un área de un  $1,7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> en el Cono Sur americano están potencialmente expuestos a la ingestión de agua con más de 50 µg/l de arsénico y consecuentemente tienen un riesgo elevado de padecer arsenicismo. El área afectada se extiende en un continuo noroeste-sureste desde la costa pacífica a la costa atlántica. El límite meridional aproximadamente corresponde a los 30°S en Chile y a los cursos de los ríos Desaguadero y Colorado en Argentina. El límite septentrional provisionalmente se ha fijado en el borde norte del Altiplano, y los cursos de los ríos Bermejo y Paraná. Por lo que respecta al arsénico en el agua, esta gran zona se puede subdividir en:

1) zona cordillerana,

incluye el Altiplano y la Puna, y áreas limítrofes,

2) zona pericordillerana, y

3) zona pampeana. Salvo casos locales de contaminación (explotaciones mineras, fundiciones), el origen del arsénico es natural y está relacionado con el volcanismo y la actividad hidrotermal asociada de la cordillera de los Andes entre 14 y 28oS. La dispersión secundaria a través de aguas superficiales ha sido el mecanismo dominante que ha llevado el arsénico hasta las costas pacífica y atlántica. La movilidad del arsénico está condicionada por las condiciones redox y el pH. En el contexto de la región arsenical del Cono Sur, prevalecen las condiciones oxidantes, estando el arsénico mayoritariamente disuelto en forma de especies con As(V), y el pH es neutro o tiende a la alcalinidad. La gestión del abastecimiento con agua de calidad en esta zona debe tener en cuenta además del estado de oxidación del arsénico en el agua, la existencia frecuente de salinidades elevadas y la presencia de concentraciones que superan los límites admisibles en agua para consumo humano de otros elementos potencialmente tóxicos (p. ej., flúor) y la baja calidad microbiológica. Las necesidades abarcan desde el suministro rural familiar hasta el de ciudades con varios cientos de miles de habitantes. Las soluciones pasan por el abastecimiento de fuentes alternativas sin arsénico o, cuando no sea posible, el tratamiento mediante plantas potabilizadoras convencionales optimizadas, tecnologías desmineralizadoras, bioremoción y utilización de métodos muy simples en el punto de uso.

Palabras claves: arsénico, estado del arte, tratamiento, Argentina, Chile

1) Instituto de Ciencias de la Tierra "J. Almera", CSIC, Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España (jlfernandez@ija.csic.es)

2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires-CONICET, Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina

3) Departamento de Geología, Universidad de Chile. Casilla 13518 - 21, Santiago, Chile

4) Fac. de Geología, Universitat de Barcelona, Martí I Franquès s/n, 08028 Barcelona, España

5) IRNASA, CSIC, Apartado 257, 37008 Salamanca, España

***4.4.4. Journal of Environmental Chemical Engineering. Volume 2, Issue 4, December 2014, Pages 2221-2228***

***Selective removal of arsenic(V) from natural water using N-methyl d-glucamine functionalized poly(propylene) membranes***

Autores: Rakesh N. Shindea,b, Vivek Chavana, R. Acharyaa, N.S. Rajurkarb, Ashok K. Pandeya

Abstract: Functionalized membranes for As(V) removal were synthesized by grafting glycidyl methacrylate in the fibrous and microporous host substrates, and subsequently reacting these precursor membranes with N-methyl-D-glucamine (NMDG). These membranes have been characterized and studied for As(V) removal from aqueous solution by the permeation method using dense membranes and flow-through method using fibrous membranes. In the permeation experiment, it was observed that As(V) could be transferred 60% from feed (ground water) to receiver compartment (NaOH) using the dense NMDG-membranes. The lower transfer of As(V) from feed to receiver compartment was due to counter transport of OH<sup>-</sup> ions from a receiver to a feed compartment. To address this problem, the removal of As(V) by sequential flow-through cycles of the feed and receiver across the fibrous NMDG-membrane was studied. In this mode, 92% of As(V) was sorbed in the fibrous NMDG-membrane in one cycle of 7.5min for 15mL feed. As(V) was deloaded to 66% by a single cycle of 0.3molL<sup>-1</sup>NaOH. The HPLC method was also developed for quantifying As(V) content preconcentrated in a receiver solution. This method could be used for coupling desorption flow through cycle directly to the HPLC system. The reusability experiments showed that the membranes developed in the present work is highly stable and can be regenerated without affecting their As(V) removal efficiency.

Graphical abstract

Keywords: As(V) species; Natural water; Membranes; N-Methyl-D-glucamine; Preconcentration

Resumen: Membranas funcionales para la remoción de Arsénico (As), fueron sintetizadas mediante la unión de glycidyl methacrylate en un sustrato fibroso y micro-poroso, y luego haciendo reaccionar estas membranas precursoras con N-methyl-D-glucamina (NMDG).....

Ver mas en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714002127>

#### ***4.4.5. Twenty years of global groundwater research: A Science Citation Index Expanded-based bibliometric survey (1993-2012)***

Autores: Beibei Niu, Hugo A. Loáiciga, Zhen Wang, F. Benjamin Zhan, Song Hong



## Summary

A bibliometric analysis was conducted to evaluate groundwater research from different perspectives in the period 1993–2012 based on the Science Citation Index-Expanded (SCIE) database. The bibliometric analysis summarizes output, categorical, geographical, and institutional patterns, as well as research hotspots in global groundwater studies. Groundwater research experienced notable growth in the past two decades. “Environmental sciences”, “water resources” and “multidisciplinary geosciences” were the three major subject categories. The Journal of Hydrology published the largest number of groundwater-related publications in the surveyed period. Major author clusters and research regions are located in the United States, Western Europe, Eastern and Southern Asia, and Eastern Australia. The United States was a leading contributor to global groundwater research with the largest number of independent and collaborative papers, its dominance affirmed by housing 12 of the top 20 most active institutions reporting groundwater-related research. The US Geological Survey, the Chinese Academy of Sciences, and the USDA Agricultural Research Service were the three institutions with the largest number of groundwater-related publications. A keywords analysis revealed that groundwater quality and contamination, effective research technologies, and treatment technologies for water-quality improvement were the main research areas in the study period. Several keywords such as “arsenic”,

***Veinte años de investigación de aguas subterráneas a nivel mundial: Una Science Citation Index Expanded-basado encuesta bibliométrico (1993-2012)***  
***Beibei Niu, Hugo A. Loáiciga, Zhen Wang, F. Benjamin Zhan, Song Hong***

Se realizó un análisis bibliométrico para investigar las aguas subterráneas desde diferentes perspectivas en el período 1993-2012, sobre la base de datos ampliada de Science Citation Index. El análisis bibliométrico resume salidas, categóricas, geográficas y patrones institucionales, como puntos de acceso en los estudios de investigación de aguas subterráneas a nivel mundial. La investigación de las aguas subterráneas ha experimentado un crecimiento notable en las dos últimas décadas. El Diario de Hidrología publicó el mayor número de publicaciones relacionadas con aguas subterráneas en el período

estudiado. Principales grupos, autores y regiones de investigación se encuentran en los Estados Unidos, Europa occidental, Asia Oriental y Meridional, y el este de Australia. Los Estados Unidos fue uno de los principales contribuyentes a la investigación de las aguas subterráneas con el mayor número de periódicos independientes y de colaboración. Un análisis de palabras claves reveló que la calidad de las aguas subterráneas y la contaminación, tecnologías de investigación eficaces, y las tecnologías de tratamiento para mejorar la calidad del agua fueron las principales áreas de investigación en el período de estudio. Varias palabras claves como “arsénico”, “cambio climático”,

"fluoruro", "gestión de las aguas subterráneas", "hidrogeoquímica", "incertidumbre", "modelado numérico", "la intrusión de agua de mar", "adsorción", "percepción remota", "uso de la tierra" y "suministro de agua", aumentó dramáticamente la atención durante el período de estudio, posiblemente señalizando futuras líneas de investigación.

Palabras clave: Aguas subterráneas; Análisis bibliométrico; SCI Expanded; Distribución geográfica; tendencias de investigación.

ver mas en :

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414005988>

#### ***4.4.6. Arsenico en acuíferos: influencia sobre la salud de la población***

Autoras: Susana Isabel Curto<sup>1</sup> Nora A. Mendiburo<sup>2</sup> Romina Plastina<sup>3</sup> Rolando Boffi<sup>4</sup>

RESUMEN: En diversas regiones del país, la provisión de agua para bebida se ve seriamente dificultada por la existencia de aguas subterráneas con elevados contenido de arsénico y flúor (también vanadio), lo que las hace tóxicas para el consumo, pues estos elementos químicos se acumulan en el organismo produciendo patologías denominadas hidroarsenicismo y fluorosis. En este trabajo nos ocuparemos del As por su carácter carcinogénico y la importancia que reviste en el territorio argentino. El objetivo del presente estudio es identificar áreas críticas con aguas subterráneas que poseen alto contenido de arsénico.

PALABRAS CLAVE: hidroarsenicismo, arsenico, acuíferos, contaminación,

#### ***4.4.7. Evaluación del riesgo para la salud en una población de la zona rural de bogotá d.c por la presencia de metales en aguas de consumo (health risk assessment of metal presence into drinking water in a bogota d.c. Rural population)***

Autora: Liliana Hernández Hernández Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola Bogotá, Colombia 2012

Resumen: El presente estudio se desarrolló en la ruralidad de las localidades de Ciudad Bolívar y Usme en la ciudad de Bogotá, Colombia, entre los meses de mayo de 2011 y mayo de 2012, donde por antecedentes de la presencia de metales en agua de consumo, se decidió aplicar la metodología de Evaluación

de Riesgos en Salud de la US-EPA, para lo cual se analizaron muestras de agua en 61 viviendas de la zona. Los metales evaluados fueron: Cd, Cu, Cr, Ni, As, Pb y Hg. Sólo se detectó la presencia de plomo y mercurio; a concentraciones que en su mayoría se ubicaron dentro de los límites permisibles de la normatividad nacional, sin embargo algunas muestras presentaron concentraciones superiores a la normatividad actual. La evaluación del riesgo se efectuó para los metales Pb y Hg utilizando el coeficiente de peligrosidad (HQ), mediante la incorporación de dosis de referencia teóricas (RfD) y dosis diarias promedio (DDP) computadas para la población estudiada. El riesgo se calculó de forma determinística y probabilística utilizando 10.000 simulaciones de Monte-Carlo. Los resultados de HQ calculados, en la zona de Ciudad Bolívar, de forma determinística indican un promedio para plomo entre 0,029 a 0,049 y para mercurio de 0,23 a 0,75 indicando un riesgo bajo en la salud. El cálculo de HQ, mediante las simulaciones de Monte-Carlo en los tres escenarios planteados (mínimo, promedio y máximo), mostró que para el plomo son inferiores a 1, representando un riesgo bajo, pero respecto al mercurio en los escenarios promedio (1,12 a 2,95) y máximo (2,37 a 5,12) los HQ representan un riesgo alto en la salud la población. En la zona rural de Usme los HQ son igual a cero. También se efectuaron cálculos de los coeficientes de variación esperados (c.v.e) de los HQ, los cuales fueron superiores en su mayoría a 20%, lo que indica que los datos solo pueden ser utilizados para análisis descriptivos y no estadísticos. Adicionalmente se realizó la evaluación del tratamiento, operación y mantenimiento de los acueductos que abastecen las comunidades objeto de estudio, para identificar si configuran un panorama de protección o potenciación del riesgo, encontrando que existen deficiencias en la desinfección del agua y por ende presencia de Coliformes Totales y Escherichia Coli, lo que puede ser un potenciador del riesgo por mercurio, debido a los mecanismos de metilización.

Contenido IX

Palabras clave: mercurio, plomo, coeficiente de peligrosidad, dosis de referencia, dosis diaria promedio, coeficiente de variación esperado, simulaciones de Monte-Carlo, ingesta de agua, riesgo, evaluación del riesgo, exposición.

#### **4.4.8. Contenido de arsénico en el agua de consumo en Leales y Graneros (Provincia de Tucumán - Argentina)\***

Levels of arsenic in the drinking water in Leales and Graneros (Tucumán - Argentina)

Autores: Rosa Silvina Guber<sup>1</sup>, Liliana Tefaha<sup>3</sup>, Nilda Arias<sup>1</sup>, Noemí Sandoval<sup>1</sup>, Roxana Toledo<sup>3</sup>, Marta Fernández<sup>1</sup>, Cayetano Bellomio<sup>3</sup>, Mateo Martínez<sup>3</sup>, Analía Soria de González<sup>2</sup>

Resumen: Se determinó la contaminación con Arsénico (As) en agua de bebida

en Leales (L) y Graneros (G) (Tucumán), y se relacionó el nivel de contaminación con la profundidad de los pozos y la presencia de signos dermatológicos.

La determinación de As fue realizada por el método cuantitativo de Gutzei modificado. Se entrevistaron 122 individuos, se evaluaron los signos dermatológicos de arsenicismo. El 9,3% y 34,7% de 140 muestras de L y 95 de G respectivamente tienen niveles permitidos. Las concentraciones promedios en L fueron 0,112; 0,087 y 0,096 mg/L para la profundidad menor a 10; 11 a 25 y mayor a 25 metros respectivamente. No se encontró diferencia entre las distintas profundidades. Las concentraciones promedios en Graneros fueron 0,163; 0,045; 0,405; 0,056 mg/L para los pozos menor a 10; 11 a 25 con concentraciones moderadamente y marcadamente elevadas, y mayor a 25 metros respectivamente. Se encontraron diferencias entre las concentraciones de As y la profundidad de los pozos. El 12,4% de los 89 individuos examinados de L y el 39,4% de los 33 individuos de G presentaron signos dermatológicos. Es una patología de alta prevalencia en áreas deprimidas del noroeste argentino, se vincula a una inadecuada provisión de agua, es un problema de alta importancia socio-sanitaria por su magnitud; su severidad real y potencial y su evitabilidad.

Palabras clave: arsénico \* agua \* hiperpigmentación \* hiperqueratosis \* Tucumán, \* Argentina

#### ***4.4.9. Permissible level of arsenic consumption***

To fight the severe effects of the arsenic poisoning around the world, the World Health Organisation (WHO) has set the standard for arsenic contamination in drinking water at 0.01 mg/l [16]. The maximum permissible standard for arsenic is 0.5 mg/l, which is adopted by many countries as their national standard. United States and the European Union follows the WHO standard, but a major concern is in those countries which are facing difficulties in maintaining their National standard of 0.05 mg/l. Table 1 illustrates the national drinking water standards for arsenic of some countries.

#### ***Nivel admisible de consumo de arsénico***

Para luchar contra los graves efectos de la intoxicación por arsénico en todo el mundo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido el estándar para la contaminación por arsénico en el agua potable a 0,01 mg / l [16]. La norma máxima permitida para el arsénico es de 0,5 mg / l, que es adoptado por muchos países como la norma nacional. Estados Unidos y la Unión Europea sigue el estándar de la OMS, pero una de las principales preocupaciones es en los países que se enfrentan a dificultades para mantener su estándar nacional de 0,05 mg / l. El Cuadro siguiente ilustra los estándares nacionales de agua potable para el arsénico de algunos países.

Countries / Organisation	Limit of Arsenic in Water (in ppb)
US: New Jersey	5
Australia	7
WHO, EU, Canada, Japan, US, Taiwan	10
Mexico	35
<b>Argentina</b> , Bangladesh, China, Nepal, India, Ghana, Thailand, Thailand, Vietnam etc	50

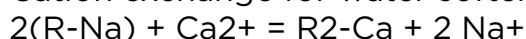
Cuadro N°5 estándares internacionales de arsénico en agua

#### 4.4.10. Conventional technologies for ground water arsenic treatment

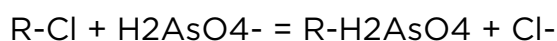
There are several technologies developed for the mitigation of ground water arsenic. However, the most common and conventional methods are Ion exchange methods, membrane process, chemical precipitation/coagulation, oxidation and adsorption methods are described below Ion exchange methods.

An ion exchange method is a physical-chemical process where the ions are exchanged between solution phase and solid resin phase of similar charge. This process is not suitable as a POU method to be used in private tube wells but is mostly used in large scale purposes for water softening and removal of nitrate, arsenate and chromate from municipal waste water. This process is used to remove As(V) but not As(III). The exchange affinity of anion of As(V) depends on the concentration of other anions like sulphate and nitrate anions [21]. In this method, water from a source (especially contaminated ground water) is passed through the ion exchange resin beds, which remove the arsenate and other anions, especially sulphate anions, and the unwanted contaminant effluent is left at the bed. The bed is then regenerated or rinsed with a brine solution (chlorine exchange) for the preparation of another cycle [22]. The chemistry for the anion exchange for arsenic removal and cation exchange for the softening of water is given below.

Cation exchange for water softening (R= Resin site)



- Anion exchange for arsenic removal



#### **4.4.11. Membrane process**

Membrane process is a technique which uses the semi-permeable membrane to separate the dissolved solids and as well as arsenic from the water. It is a physical barrier which blocks some particles from passing through but allows an easy movement of other particles through the membrane, depending upon the physical and chemical properties of the particles. The potential difference between the two sides of membrane is a driving force for the movement of particles

This mechanism removes the arsenic through the mechanism of filtration, electric re-pulsion and adsorption of arsenic bearing compounds. Shape, size and chemical properties of arsenic components are the major factors that affect the rate of membrane separation. For example, if the size of the particulate arsenic compounds is larger than the membrane, it is prevented from passing through the membrane [23]. There is several membrane processes developed for the arsenic removal from the feed water which are divided in two broad categories: low pressure membrane filtration and high pressure membrane filtration [24]. Low pressure membrane filtration (10-30 psi) includes microfiltration and ultrafiltration, while high pressure membrane filtration (75-250 psi pressure) includes reverse osmosis and nano-filtration [24, 25]. All these mechanisms are quite expensive for single household purposes; thus, they can be adopted for small village water supply schemes.

#### **4.4.12. Coagulation**

The coagulation method has been practiced for a long time to remove suspended and dissolved solids from the surface or ground water. Alum (hydrated potassium aluminium sulphate) and iron (III) salts are used as coagulants to remove arsenic in this process. The arsenic removal mechanism occurs in two stages: adsorption and occlusion. During adsorption, the dissolved arsenic is attached to the surface of a particle, and during occlusion the dissolved contaminant is adsorbed to a particle and then entrapped as the particle continues to agglomerate. Several factors such as pH, dosage of coagulants, turbidity, natural organic matter, anions and cations in solution and temperature are the key parameters that can affect the rate of coagulation. Basically, this method is applied to remove As (V) than As (III) species because at the same parameter condition, a better result can be obtained for As (V) than for As (III). However, As (III) can be converted to As (V) by using a strong oxidant like chlorine [26].

#### ***4.4.13. Adsorption methods***

Adsorption is a method through which the atoms, ions or molecules are attached to the surface. This adsorption mechanism is also widely used to remove the arsenic species from the contaminated water. In this process, the contaminated water is passed through adsorption media which are usually packed into a column. The arsenic present in contaminated water is then adsorbed in adsorbents and removed from the water. The adsorbents used for this process are, for example, activated alumina, ion ex-change resin and iron compounds. The efficiency of these media depends on the types of oxidising agent used for the sorption of arsenic. These adsorption media are capable of removing the arsenic below the WHO permissible limit [27].

#### ***4.4.14. Oxidation***

Oxidation is one of the conventional methods to treat arsenic contaminated water. Mostly, As (III) is oxidised to As (V) using several oxidants, such as chlorine, potassium permanganate, ozone and hydrogen peroxide. However, the harmful effects of the by-product of oxidant should be taken into consideration while choosing the oxidant for arsenic removal [28]. Aeration or natural oxidation of arsenic is one of the cheaper methods to oxidise As (III) to As (V) but it is very slow in nature. Addition of strong reagents like  $\text{KMnO}_4$  can make the reaction faster [29]. Not only chemical oxidation, but these days' also solar oxidation and biological oxidation are commonly used to remove the arsenic from the water [27]. The description of the solar oxidation (SORAS) technology is presented in section 8.2.1 below.

#### ***4.4.15. Rural technologies for arsenic removal***

There are several rural technologies to treat the contaminated water. These technologies are either community based or household treatment systems. The household treatment methods are also called as point-of-use (POU) methods as they are less expensive and quicker methods. Boiling, aeration, chlorine disinfection, sand filters, ceramic filters and solar oxidation are typical examples of POU methods of water treatment where the water is collected from single tap or source and is used for a specific purpose like cooking and drinking [30]. In community systems, many households in a society invest money and make a single treatment unit for common use.

The advanced and expensive methods for treatment for arsenic contaminated water are not affordable to many people in the world. To solve this problem, several household and inexpensive methods of arsenic treatment are identified. These methods are in practice in many parts of the globe. The rural method of arsenic removal technology can also be both community based and household



based. However, this thesis de-scribes the working mechanism and arsenic removal efficiency of only some of the widely practiced household arsenic treatment units.

#### 4.4.16. Community based removal technology

Many people in the rural villages consume the water from common hand pumps or tube wells. If the groundwater contains arsenic, there is a high chance that most of the people living in those areas are affected by arsenic poisoning. Thus, the arsenic treatment unit is established in hand pumps or in tube wells in many rural villages where the ground water is arsenic contaminated.

Normally, the arsenic treatment unit attached to tube wells operates in intermittent flow of water. There are four stages of treatments which are mixing, flocculation, sedimentation and filtration. Sodium hypochlorite is added for the oxidation and alum for coagulation in the first stage; then there is mixing and flocculation followed by sedimentation and filtration of the water. The treated water is carried manually using a bucket or a jar [31]. The arsenic removal plant (Figure 6) developed by All India Institute of Hygiene and Public health by following this principle was found to be effective. It removed 90 % of the arsenic in tube well water having an initial concentration 300 µg/L [30, 27].

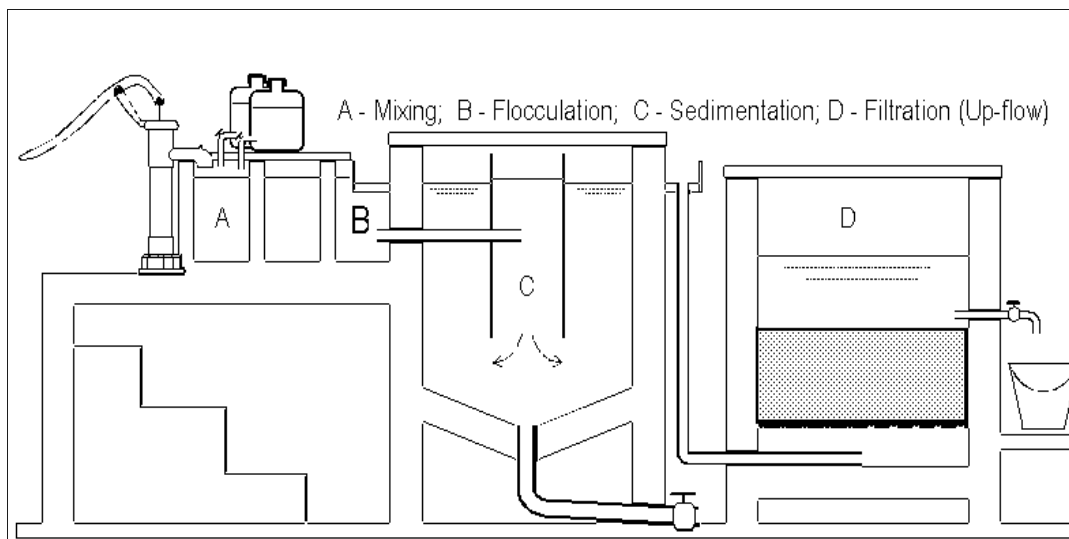


Foto N°6. Arsenic treatment unit at tube wells

#### 4.4.17. Household technology

The concept of designing household arsenic treatment technology is to facilitate the poor people to consume arsenic-free water. Many poor countries cannot afford the centralised treatment methods for arsenic. As a result, many different types of economical arsenic treatment units are developed in the world.

However, this thesis deals with only some common technologies that are practiced in highly arsenic-affected areas of South Asian zones. Solar oxidation and removal of arsenic, Arsenic bio sand filter, Sono filter, Bucket treatment units are some common POU methods of arsenic treatment that are described in this thesis. All these technologies are developed utilising the locally available materials and no fuel is used to operate them.

#### **4.4.18. SORAS**

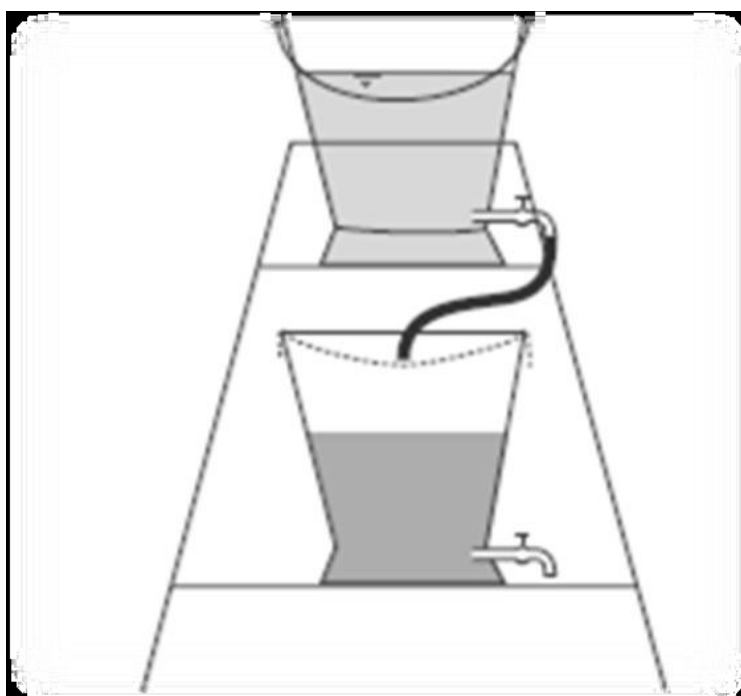
SORAS stand for solar oxidation and removal of arsenic. It is one of the most economical methods of arsenic removal technology. A small transparent bottle, sunlight, lemon juice and the iron components in the water are necessary for this process. The bottle should be PET (Polyethylene Terephthalate) and transparent so that it would have good transmittance rate of UV-A light which is necessary for proper solar oxidation. Coloured bottle is not recommended as there is a chance of poor transmittance of light and the reaction of paint used to colour the material with UV can be hazardous. [32] In this technology, the irradiation of water uses sunlight to reduce the arsenic level in water by the photo oxidation method. To perform the SORAS action, the sample water should contain iron components, i.e. Fe (II). The SORAS process takes place in two stages; in the first stage, the As(III) is oxidised to As (V), and in second stage As(V) is then adsorbed into Fe(III) oxides which settles at the bottom of the container [33]. Lemon juice or tamarind extract is used as a natural source of acid to increase the rate of photo-chemical oxidation of As (III) and to reduce the arsenic concentration below 0.05 mg/l. The basic Chemistry of the SORAS process is given below:

Several experiments have already been performed to find out the efficiency of SORAS technology in many labs of the world. Majumder Ayan et.al. [34] had performed an experiment to find out the efficiency of SORAS technology at household level. They filled the 1 L PET bottle with 750 ml of ground water of A.G. Colony. The arsenic content measured was [As (III) = 235 µg/L and As (V) = 25 µg/L] and after that 5 ml of tamarind extract (tartaric acid) was added to the water. After adding the extract, the bottle was shaken manually for 30 s and left in sunlight for 6-8 h. After illuminating in sunlight, the water was filtered using the fine cotton cloths and the filtrate was analysed for the total arsenic remained in the residual.

#### **4.4.19. Bucket treatment unit**

Bucket treatment unit (BTU) method of arsenic-contaminated water treatment is based on the coagulation, co-precipitation and adsorption process. This technology was developed by the DPHE-Danida Project. This unit consists of two buckets of 20 L which are placed one above another (See Figure 8). The arsenic contaminated water is poured on the top bucket and after that the

chemicals containing 4 g of alum and 0.04 g of powered potassium permanganate is added in the raw water. The mixture is then stirred rapidly for a couple of minutes and allowed to settle after stirring. The settled water is then passed to the lower bucket with a pipe attached to the lower end of the upper bucket. The lower bucket has sand for sand filtration of the microflocks that come together with water from the upper bucket. The water that is filtered at lower level is collected through the tap connected at the bottom of the lower bucket. Here, in this process, the trivalent arsenic compound present in the raw water is oxidised to the pen-tavalent compound using potassium permanganate followed by co-precipitation, coagu-lation, flocculation (alum is used as flocculent) and finally sand filtration at the lower bucket [29]. The Potassium permanganate in the solution enables further oxidation of the trivalent arsenic compounds to pentavalent one. The Al-As complex obtained at the last stage is removed by the sedimentations filtration process. The system should be cleaned at least once a week.



Fioto 7 : Schematic diagram of bucket system of arsenic treatment

To determine the arsenic removal capacity of the BTU system, Tauhara et.al. did a laboratory test (July - December 2000) of the 60 different samples of the raw water taken from 34 tube wells [36]. The samples were taken from 60 different households where the BTU systems were installed. The arsenic level was not uniform in all the samples; consequently, they divided the samples in 3 different samples i.e. 50-100 ppb, 101-200 ppb and >201 ppb (see Table 3). The arsenic level was measured after 30, 55 and 75 days. The result showed that 91.7 % (55) of households had less than 50 ppb of arsenic after 30 days, 100 % after 55 days and 93.3 % after 78 days (see Table 4). The result slowly declined after 55 days as the system required cleaning and as the sand should be boiled and washed in

regular intervals. To improve the working efficiency of the system, the researchers suggested making the system stronger in structure and upgrading the quality of the bucket to be used. Table 3 and Table 4 below give the test results.

#### 4.4.20. Sono filter

This method is another simpler home-based method of arsenic treatment which uses the methods of oxidation, precipitation, adsorption and filtration for the arsenic removal from the drinking water. A similar system is named as 3-Kalsi system in Bangladesh and 3-gargri system in Nepal. This filter is supplied to many households in Bangladesh and Nepal. The outlook of the system is very simple: three clay pots are put vertically above one another with small holes in the top and middle pot. The top and middle pots are reactor pots and the lower one is storage for the treated water. The top layer consists of polyester cloth at the bottom, 2 kg of coarse sand above it and 2 kg of iron chips (Composite iron matrix) covering the coarse sand. The middle bucket consists of polyester cloth at the bottom, 2 kg of fine sand above the polyester cloth and the 1 kg of charcoal above the fine sand. The system clears the water by the principles of adsorption and mechanical straining. Studies show that this method works efficiently in the pH range between 6.5-7.5 and can remove 90-95 % of the arsenic from water [4, 28]. This method is a surface complexation reaction. The schematic diagram and the possible chemical reactions in all the stages of the process are given in Figure 8 and Table 5 below.

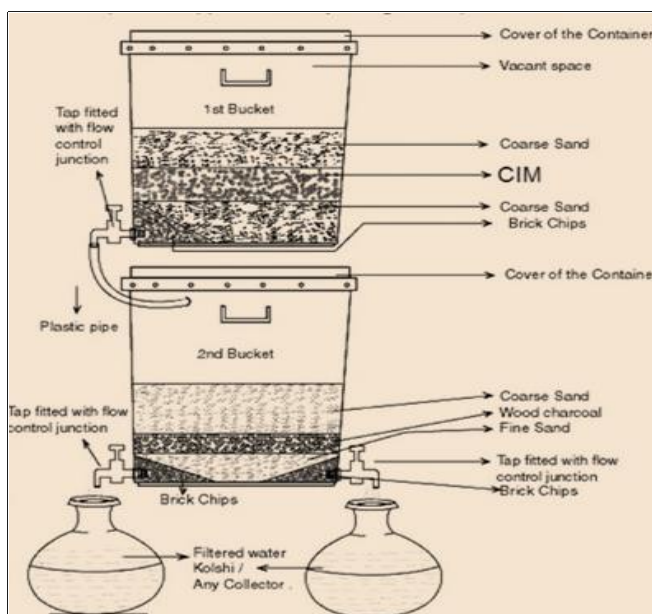


Foto N° 8. Schematic diagram of the Sono filter

#### 4.4.21. Arsenic biosand filter

Arsenic biosand filter (ABF) is one of the most economical and effective rural technologies to remove the arsenic from the drinking water. This filter is a developed version of the conventional biosand filter developed by Canadian Professor Dr. David Manz of University of Calgary in late 90s [39]. Many countries of the world, for example Nepal, Bangladesh, India, Vietnam, Brazil and Nicaragua are practicing this system to mitigate the arsenic problem. The major differences between the conventional biosand filter and arsenic biosand filter is that the ABF contains iron nails, while the conventional does not and that the diffuser basin is introduced in the biosand filter as an arsenic removal unit. This filter not only removes arsenic but also removes the pathogens, colloids, viruses and turbidity from the water. The arsenic biosand filter has two layers in general i.e. pathogen removal unit and arsenic removal unit. The lower part is a pathogen removal unit and the upper part is an arsenic removal unit. It is made by using the locally available materials, such as iron nails, coarse sands, polyester cloth, gravels and fine sand. The dimensions of the filters can be adjusted according to the need. The arsenic removal unit is made up of iron nails, a metal diffuser box and a polyester cloth, while the pathogen removal unit has fine sand, coarse sand and gravels. The brick chips help to keep the iron nails stable when the water is poured through the top of the filter. The nails also work as iron oxide sand which helps to absorb some arsenic contaminants [41]. The schematic layout of the ABF is presented in figure 9 below.

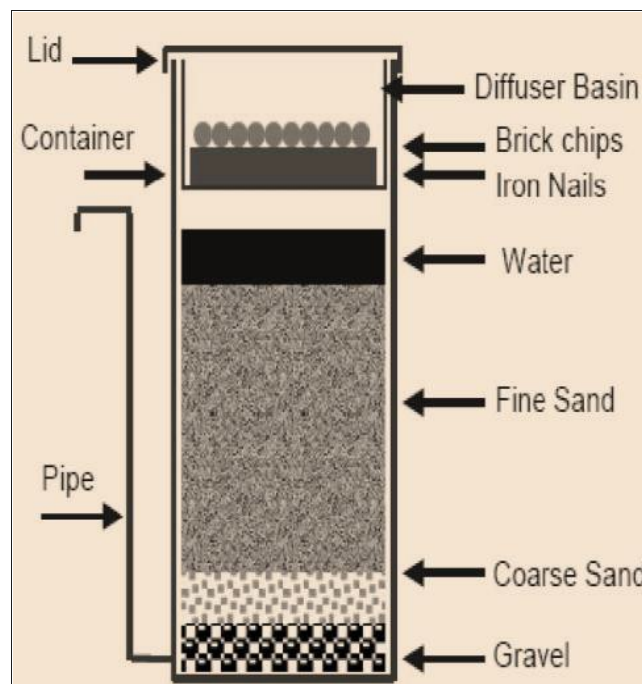


Foto N°9. Kanchan arsenic biosand filter

The arsenic biosand filter works on the principle of iron hydroxide adsorption and the slow sand filtration mechanism. The contaminated water is passed through the top of the filter which percolates slowly down to the diffuser layer

and pathogen removal layer and the clean water appears from the outlet. The iron nails in ABF are exposed to air and water, which makes it easier for them to rust quickly forming ferric hydroxide particles. Thus, when the arsenic contaminated water is passed into the filter, the arsenic species comes in contact with the ferric hydroxide particles. Since Ferric hydroxide is an excellent adsorbent of the arsenic, they come in contact with the iron rust for surface complexation reaction. Due to this reaction, the arsenic species are absorbed into the rusted iron nails. The arsenic loaded iron particles are then flushed on to the underlying fine sand layer and settle on top of the fine sand layer and only the arsenic free water goes below the fine sand layer.

#### 4.4.22. Comparison of above mentioned rural methods of Arsenic Treatment

All the above described rural technologies are practiced in many countries of South Asia. Most of the rural technologies to treat arsenic should be easy to construct, cheaper in nature and user friendly. No chemicals or easily available materials (can be chemicals as well) are used in all above mentioned technologies. However there are some differences in the arsenic removal efficiency, sustainability and in other aspects. Some major differences that are to be noticed while selecting the options are presented in Table 6.

S No	Evaluation table	SORAS	BTU	SONO	Biosand Filter
1	Working Mechanism	Solar Oxidation	Coagulation, co-precipitation and adsorption	Oxidation, precipitation, adsorption and filtration	Iron hydroxide adsorption and slow sand filtration
2	Raw materials needed	Sunlight, transparent bottle, natural acid like lemon juice or tartaric acid	2 buckets, alum powder, potassium permanganate powder, fine sand	3 clay pots, coarse and fine sand, iron chips, char-coal	Iron nails, metal diffuser box, polyester cloth, brick chips, fine sand, gravel

					and coarse sand
3	Arsenic removal efficiency	Over 80 %	Over 90 %	90-95 %	95-97 %
4	Other contaminants removal	Viruse, pathogens, bacteria and parasites	Viruses, pathogens, bacteria and parasites	Iron, pathogens, bacteria	Pathogens, colloids, viruses and turbidity
5.	Overall evaluation	4th	3rd	2nd	Best

Cuadro 6. Differences between the rural technologies to treat arsenic contaminated water

#### 4.4.23. Other approaches for arsenic mitigation

Most of the arsenic contaminated wells are reported to be shallow in nature. Also, there is high risk of other pollution if the water is taken from the sources with shallow aquifers. Hence, the construction of deep wells can be one approach to mitigate the arsenic problem on a long term basis [46]. No approaches can be effective if the person who uses the source does not know much about the effect of arsenic poisoning and the idea to get the arsenic-free water for their daily consumption. Therefore, the public awareness about being safe from the arsenic contamination should be promoted. Pokhrel et.al suggests that one of the best methods to mitigate the arsenic poisoning is to change the source and explore the safe sources rather than investing for contaminated sources [3]. Properly stored rain water can be another good source of drinking water to the people residing in the location where there is high concentration of arsenic in the sources [47]. Industrialisation activities, mining activities and solid waste disposal near the source area also contaminate the water with arsenic and other chemicals. Rainwater is the major transporter of these contaminants to the source. Therefore, all those activities are should be carried out far away from the residential area. The practice of community treatment systems can also be one of the economical methods of long-term mitigation of the arsenic problem as the cost can be shared by all the houses in the area and other donors.

## 5. Recomendaciones y Conclusiones

### *5.1. Recomendaciones brindadas por la OMS y la IARC sobre el arsénico.*

Otros organismos internacionales han evaluado con anterioridad el arsénico. Así, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció un valor guía de 10 µg/litro para el arsénico presente en agua de bebida. Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), hay suficientes pruebas para concluir que el "arsénico y los compuestos de arsénico" causan cáncer a los seres humanos.

El arsénico es una sustancia química liberada por la corteza terrestre a través de procesos naturales y por algunas actividades humanas. Existen tanto bajo forma inorgánica como orgánica. Generalmente se considera que el arsénico inorgánico es más tóxico.

Los niveles de arsénico en el entorno varían. Las concentraciones de arsénico inorgánico, el que generalmente se considera más tóxico, son más importantes en el aire que está cerca de fuentes industriales, en el agua subterránea de las zonas con contaminación geológica natural y en los suelos y sedimentos que están cerca de fuentes de contaminación. Las concentraciones de arsénico orgánico, menos tóxico, son especialmente altas en los animales marinos y en consecuencia en el pescado y el marisco.

El ser humano está expuesto al arsénico sobre todo a través de los alimentos y del agua, pero el arsénico también puede ser inhalado. Una vez absorbido por el sistema sanguíneo, el arsénico se transforma rápidamente y se elimina del cuerpo a través de la orina.

En el medioambiente, los organismos reaccionan de diferente forma a la exposición al arsénico. Esa exposición puede llegar a provocarles la muerte, la inhibición del crecimiento y de la reproducción. Las zonas en las que el arsénico ha contaminado el entorno natural, la cantidad de diferentes especies que podemos encontrar se ve reducida.

En el caso de los seres humanos, si se ingiere una gran cantidad de arsénico inorgánico más tóxico y bajo una forma que se absorbe fácilmente, puede afectar al intestino, el corazón y el sistema nervioso, provocando un envenenamiento rápido y la muerte. El agua de bebida de fuentes no contaminadas contiene normalmente solo pequeñas cantidades de arsénico. Sin embargo, en zonas en las que hay una contaminación geológica natural, como es el caso de Bangladesh, el agua de bebida de los pozos también puede contener altos niveles de arsénico inorgánico. Estos niveles pueden dañar la piel y están vinculados con el aumento de riesgo de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón. La exposición a aire contaminado en el lugar de trabajo puede causar cáncer de pulmón.



Millones de personas en el mundo sufren de contaminación por arsénico por el consumo de agua con arsénico contaminado. Para resolver este problema, se identifican diversos enfoques de mitigación de alta tecnología, así como métodos rurales. La mayoría de las personas que sufren de arsénico con contaminación son de origen humilde. Por lo tanto, los enfoques de mitigación deben centrarse en el nivel rural y de los hogares. Varios mecanismos POU económicas y eficaces como RAOS, BTU, Sono filtro y filtro de bioarena arsénico se utilizan en muchas zonas rurales del mundo como los enfoques de mitigación de arsénico.

Después de estudiar y analizar los experimentos publicados en varias revistas, se afirma que todas las tecnologías mencionadas anteriormente son excelentes tecnologías, que persiguen el objetivo de aminorar los efectos del nivel de arsénico en sangre en poblaciones rurales inclusive por debajo de los estándares de la OMS. Así por ejemplo RAOS tecnología puede eliminar más del 80% del arsénico en el agua contaminada. Del mismo modo, se informó de filtros BTU y Sono para eliminar 90% de la contaminación por arsénico. La tecnología ABF, que es el mejor entre todos estos métodos de mitigación puede volver a mover más de un 95% del arsénico en el agua contaminada.

Para eliminar el arsénico de manera eficiente por un largo período, es de interés rescatar el efecto que suponen los filtros para limpiar a intervalos regulares. Estos métodos son fáciles de operar y manejar; por lo tanto, una pequeña demostración sobre mantener el filtro en buenas condiciones puede ser suficiente.

Además de arsénico, estas Tecnología también son capaces de eliminar virus, bacterias, patógenos y coloides. Aparte de estas tecnologías, otros enfoques de mitigación, como la recolección de agua de lluvia, las actividades industriales y mineras adecuadas son otras actividades para mitigar el envenenamiento por arsénico. Sin embargo, sin una coordinación adecuada de las autoridades locales y otros organismos nacionales e internacionales los enfoques de mitigación pueden no tener éxito. Por lo tanto, la primera prioridad debe ser la conciencia pública.

Es pretensión de todos los integrantes de la UVTeIC MENDOZA, que tanto la información suministrada en esta publicación como la información brindada en los reportes sean de utilidad y colaboren con la constante preocupación de temas hídricos en la región, pero fundamentalmente es llevar a la práctica conocimientos obtenidos a través del curso brindado por el Programa VINTEC cuales seguramente se consolidarán con mayor práctica.